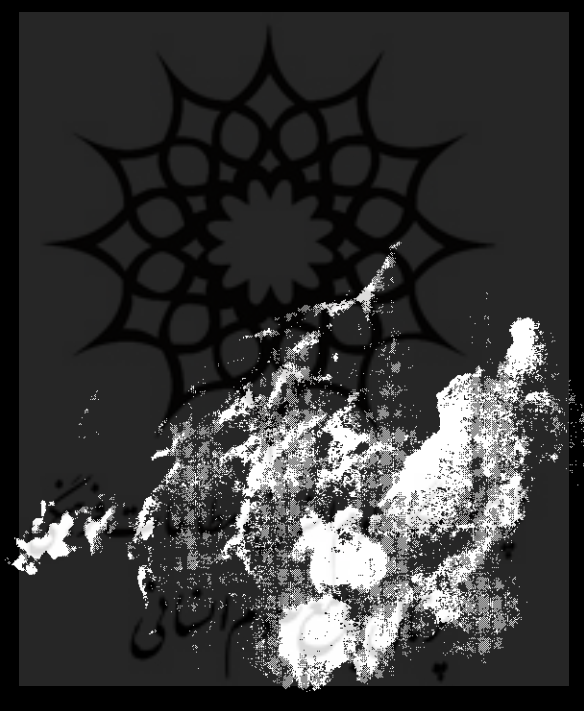
ردیابی و اثبات حضور آلاینده های ناشی از آتش سوزی چاه‌های نفت کویت



ردیابی و اثبات حضور آلاینده های ناشی از آتش سوزی چاه‌های نفت کویت طی جنگ خلیج فارس بر روی میراث فرهنگی ایران

دکتر رسول وطن دوست- شهرزاد امین شیرازی
پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی – فرهنگی

پیشینه:

در دوم اوت سال ۱۹۹۰ میلادی (مهر۱۳۶۹) ارتش عراق به خاک کویت حمله برد. این اقدام که با واکنش جامعه بین‌المللی روبرو شد منجر به عقب‌نشینی نیروهای عراقی از خاک کویت شد و کویت در ٦ نوامبر ۱۹۹۱ (آذر ۱۳۷۰) توانست آزادی خود را جشن گیرد. نیروهای عراقی پیش از عقب‌نشینی و در حین آن تعداد قابل توجهی از تاسیسات نفتی و چاه‌های نفت کویت را تخریب کرده و به آتش کشیدند. این آتش‌سوزی وسیع که برای شش ماه متوالی ادامه داشت (جدول ۱) باعث شد حجم باور نکردنی از دود ناشی از احتراق ناقص نفت کویت به همراه ذرات معلق مختلفی به اتمسفر منطقه وارد شده و نشت نفت باعث شد تا لکه‌های نفتی در سطح وسیعی آب‌های خلیج فارس و زمین‌های مجاور آن را آلوده سازد. مدت زمان طولانی پایداری و فعالیت مولد آلودگی و حجم بالای مواد آلوده کننده در کنار عملکرد جریانات جوی و دریایی منطقه باعث شد که این مسئله سطح گسترده‌ای از منطقه را درگیر ساخته و دامنه آلودگی از شرق به شمال تبت و از غرب به سوریه و اردن نیز کشیده شود.

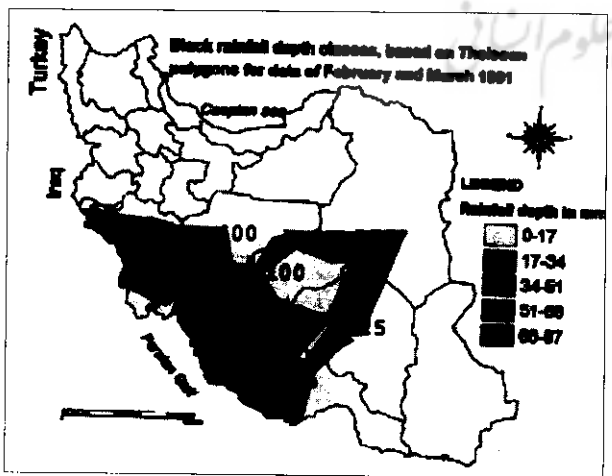
تا ماه مه ۱۹۹۱	۱۴۰ چاه نفت
تا ماه ژوئیه ۱۹۹۱	۲۶۵ چاه نفت
تا ماه اوت ۱۹۹۱	۳۵۰ چاه نفت
تا سپتامبر ۱۹۹۱	۵۰۰ چاه نفت
تا نوامبر ۱۹۹۱	۷۵۰ چاه نفت

جدول ۱ نمایش زمانی مهار آتش سوزی چاه‌های نفت کویت

در جریان این حادثه، جمهوری اسلامی ایران نیز از ورود آلودگی به فضای آب‌ها و هوای خود مصون نماند. در جریان این واقعه روزانه بیش از ۲/۵ میلیون بشکه نفت سوخته و یا در محیط رها شده و جمعاً بالغ بر ۲/۱ میلیون تن دوده و ۲ میلیون تن گوگرد تولید شده است که بیش از ٪۲۵ این آلودگی مرزهای آبی ایران در خلیج فارس و استان‌های جنوبی و جنوب غربی کشور را تحت تأثیر قرارداد.

متاسفانه آلودگی وارد شده نه تنها بر روی موجودات زنده و انسان‌های ساکن در استان‌ها و مناطق آلوده شده کشور اثر گذاشت، بلکه میراث فرهنگی واقع در این مناطق را نیز تحت تاثیر قرارداد (تصویر ۱).

در سال ۱۳۷۹، یعنی ٤ سال پس از تسلیم ادعای آسیب دیدگی میراث فرهنگی به کمیسیون غرامات و حدود ۹ سال بعد از وقوع حادثه، اعتبار لازم برای اجرای پروژه‌های بررسی و ارزیابی خسارات از سوی کمیسیون غرامات تامین شد و در اختیار سازمان میراث فرهنگی کشور قرار گرفت. اجرای این پروژه‌ها که اثبات حقانیت ادعای اصلی جمهوری اسلامی ایران



تصویر ۱- وضعیت بارش باران سیاه و تاثیرپذیری مناطق مختلف کشور از آلودگیهای ناشی از آتش سوزی چاههای نفت کویت

در بخش میراث فرهنگی منوط به نتایج به دست آمده از آن بود، توسط پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی – فرهنگی و با همکاری کارشناسان و متخصصان بین‌المللی انجام شد. در سال ۱۳۸۳ کلیه گزارشات به کمیسیون غرامات سازمان ملل ارایه شد که پس از بررسی توسط کارشناسان سازمان ملل و موفقیت نمایندگان اعزامی دردفاع از نتایج علمی به دست آمده، کمیسیون رای به صحت ادعای مطرح شده و استحقاق دریافت غرامت برای جبران خسارات وارده به میراث فرهنگی ایران داد.

به دست آوردن این موفقیت در عرصه بین‌المللی تنها نتیجه تلاش بی‌وقفه کارشناسان پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار و بهره‌گیری از تجارب و دانش تخصصی بین‌المللی بود. این مقاله به تشریح روند بررسی‌ها و پژوهش‌های علمی انجام گرفته در چارچوب این پروژه‌ها می‌پردازد.

تعریف پروژه‌ها و اهداف آنها

۲ پروژه بررسی وارزیابی خسارات وارده به میراث فرهنگی ایران به بررسی تاثیرات آلودگی‌های ناشی از آتش‌سوزی چاه‌های نفت کویت بر بقایای معماری و محوطه‌های باستانشناسی و تاثیر این آلودگی‌ها بر اشیاء و مجموعه‌های موجود در موزه‌ها و مخازن کشور اختصاص داشت.

هر کدام از این پروژه‌ها علیرغم آنکه بر روی موضوعاتی مشخص و متمایز تمرکز داشتند اما به دلیل مشترکات بسیار در زمینه‌های مختلف پژوهشی در کلیه مراحل اجرایی همگام با یکدیگر پیش برده شدند.

اهداف اصلی پروژه‌های بررسی و ارزیابی خسارات وارده به میراث فرهنگی ایران ناشی از افزایش آلاینده‌های جوی طی جنگ خلیج فارس به شرح زیر تعیین شده بود:

- گردآوری اطلاعات بیشتر در مورد غلظت آلاینده‌ها در مناطق و استان‌های آلوده شده در زمان آتش‌سوزی چاه‌های نفت کویت و گردآوری اطلاعاتی در مورد ترکیبات این آلاینده‌ها و ارزیابی تاثیر آنها بر روی میراث فرهنگی ایران در فضاهای داخلی و محوطه‌های روباز.
- ارزیابی شرایط فعلی میراث فرهنگی در فضاهای بسته و محوطه‌های روباز و شناسایی خساراتی که می‌توانند ناشی از افزایش آلودگی حاصل از آتش‌سوزی چاه‌های نفت کویت باشند.

با توجه به گذشت زمان طولانی از واقعه، به منظور ردیابی آلودگی‌های ناشی از واقعه آتش‌سوزی و اثبات نشست این آلاینده‌ها و منشاء آنها و نیز تجزیه مواد و عناصر مخرب و مضر در این آلودگی‌ها تنها امکان استفاده از روش‌های محدود و کم شماری وجود داشت. بر اساس شرایط، برنامه اجرایی تحقیقات به گونه‌ای تهیه شد که کلیه فعالیت‌ها بر پایه گردآوری منابع و مدارک علمی مربوطه و با پشتیبانی نتایج دیگر تحقیقات انجام شده بر روی این موضوع در سایر سازمان‌ها و نهادهای کشور و نیز اطلاعات تولید شده بین‌المللی در این خصوص انجام گیرد. پس از اتمام این مرحله و پردازش داده‌های به دست آمده، روش زیر به عنوان چارچوب کلی فعالیت‌ها تعیین و دنبال شد:

۱. نمونه‌برداری: نمونه‌های تهیه شده به دو گروه اصلی تقسیم می‌شدند :الف) نمونه‌های گردآوری شده از بقایای آلودگی‌های موجود بر سطوح مختلف، ب) نمونه‌های تهیه شده از آلاینده‌ها و ذرات معلق معمول در استان‌های آلوده شده.

۲. مطالعه ساختاری ذرات معلق: بررسی شاخصه‌های ساختاری و ظاهری ذرات معلق با قطر ۱۰ میکرون در تعیین منشاء و نحوه تولید آنها مورد استناد واقع شد.

۳. ردیابی شاخصه‌های نفتی کویت: میزان و نوع فلزات سنگین و عناصر کم مقدار در نفت خام کویت به عنوان یک ویژگی برای تمایز آن از نفت سایر ذخایر و کشورها به کار گرفته شد. در این مرحله با مقایسه میزان این شاخصه‌ها در نمونه‌های گردآوری شده منشاء و منبع آلودگی‌ها تعیین و مشخص شد.

٤. مدلسازی میزان نشست: مقدار نشست (خشک وتر) آلاینده‌ها و نقاط تمرکز آنها در مناطق جنوبی و غربی کشور پایه برآوردهای کمی میزان ونوع خسارات وارده به میراث فرهنگی کشور و آخرین مرحله از مطالعات به حساب می‌آمد.

گردآوری و ارزیابی اطلاعات:

جمع آوری اطلاعات در سه شاخه اصلی شامل: آلاینده‌های جوی، اطلاعات هواشناسی و گردآوری اطلاعات مربوط به آسیب دیدگی میراث فرهنگی در مناطق آلوده شده صورت گرفت.

آلاینده‌های جوی

هدف از گردآوری اطلاعات در این زمینه افزایش آگاهی و جمع‌آوری مدارک مستند در مورد غلظت، میزان و نوع آلاینده‌های ناشی از واقعه آتش‌سوزی بود تا بر پایه این اطلاعات بتوان تاثیر آنها را بر روی سطوح مختلف آثار در

محوطه‌های روباز باستانشناسی و موزه‌ها و مخازن ارزیابی نمود. برای نتیجه‌گیری بهتر گردآوری اطلاعات مربوط به دوره زمانی قبل و بعد از آتش سوزی نیز لازم بود. آلاینده‌های مورد نظر عبارت بودند از ذرات معلق (ذرات معلق و ذراتی با قطر ۱۰ میکرون)، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و اطلاعات مربوط به آلاینده‌های آلی. در مورد نزولات جوی اطلاعات مربوط به غلظت، ترکیب شیمیایی (عناصر و نمک‌های محلول)، میزان اسیدیته و هدایت جریان الکتریکی جمع‌آوری شد. در این گردآوری توجهی خاص به اطلاعات مربوط به باران‌های سیاهی که در بیشتر استانهای آلوده شده باریده بودند شد.

اطلاعات هواشناسی

در جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی عوامل گوناگونی مانند میزان بازندگی (به صورت برف یا باران)، شدت و جهت وزش بادها و نیز موقعیت و مکان پایگاه‌ها و مراکز هواشناسی ثابت در مناطق مختلف ایران مورد نظر بود. این اطلاعات شامل میزان متوسط، مقادیر حداقل و حداکثر و تعداد دفعات اندازه‌گیری ماهانه در سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۶۷ و ۱۳۸۰-۱۳۷۲ بودند. برای سال ۱۳۷۰ یعنی زمان وقوع آتش‌سوزی میزان متوسط روزانه، مقادیر حداقل و حداکثر و نیز نقشه‌های هواشناسی تهیه شدند.

اطلاعات مربوط به میراث فرهنگی

در این زمینه اطلاعات مربوط به جنبه‌های مختلف میراث فرهنگی و تاثیر آلاینده‌ها بر محوطه‌ها و موزه‌ها به ویژه نشانه‌هایی از قبیل سیاه و تیره شدن سطوح هدف اصلی بود. این اطلاعات شامل گردآوری مستندات و مطالعات کتابخانه‌ای و آرشیوی و نیز مستندسازی آسیب‌های مشهود وارده به میراث فرهنگی ناشی از افزایش آلودگی می‌شدند. اطلاعات مربوط به پاکسازی و عملیات حفاظتی انجام شده برای برطرف ساختن تاثیرات نشست آلودگی و نیز بارش باران‌های سیاه نیز در این مرحله جمع آوری شدند. در این مرحله اطلاعات گردآوری شده در مورد خسارات وارده به منظور استفاده‌های آتی در تحقیقات احتمالی آینده دسته‌بندی و مرتب شدند.

در مرحله جمع‌آوری اطلاعات از دو شیوه مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شد.

در مطالعات کتابخانه‌ای، انتشارات موجود، اسناد و گزارشات مربوط به آلودگی وارده شده به خاک ایران طی آتش‌سوزی چاه‌های نفت کویت و سال‌های پس از آن بررسی شدند.

در بررسی‌های میدانی تصمیم گرفته شد تا مصاحبه‌های حضوری با کارکنان سازمان‌های مختلف در استان‌های آلوده شده که احتمالاً اطلاعاتی در مورد این واقعه داشتند انجام شود. به همین منظور پرسشنامه‌ای تهیه شد تا کیفیت و کمیت اطلاعات به دست آمده از مصاحبه‌ها را تضمین نماید. این پرسشنامه‌ها مطالب مربوط به هر دو مورد آلاینده‌ها و اثرات آنها را بر روی میراث فرهنگی پوشش می‌دادند. طیف مخاطبان و پاسخ دهندگان به این پرسشنامه‌ها اشخاصی چون مدیران محوطه‌ها، مرمتگران و موزه‌داران را در بر می‌گرفت. در این مصاحبه‌ها نه تنها در مورد اطلاعات شخص خود آنها سئوال می‌شد بلکه این مسئله که آیا از وجود هرنوع گزارش، یادداشت، عکس و تصویر مربوط به واردآمدن آسیب به میراث فرهنگی در آن دوره اطلاع دارند و یا خیر نیز پرسیده می‌شد. سئوالاتی در مورد اقدامات حفاظتی و پاکسازی که پس از نشست آلودگی بر سطوح مختلف لازم و ضروری بود نیز مطرح شد. در این مرحله حتی گزارشات منتشر نشده، یادداشت‌های شخصی و جزئیات هزینه‌هایی که توسط مسئولین برای انجام این پاکسازی‌ها صرف شده بودند نیز جستجو شدند تا بتوان تاثیر منفی آلاینده‌ها را بهتر نشان داد.

پس از مدتی، تصمیم گرفته شد تا با دانشگاه‌های مختلف، تیم‌های تحقیقاتی و اعضای مختلف سازمان میراث فرهنگی نیز تماس گرفته شود. موضوع این تماس‌ها پرسیدن این مطلب بود که آیا در مدت زمان ورود و ماندگاری آلودگی بر فراز مناطق آلوده شده، ماموریت، حفاری و کاوش و یا برنامه حفاظی و مرمتی انجام شده که بتواند اطلاعاتی را حتی به طور جانبی و غیر مستقیم در مورد وضعیت آلودگی‌ها و میراث فرهنگی در اختیار قرار دهد.

اطلاعات منتشر نشده، گزارشات داخلی، مشاهدات شخصی و غیره نشان دهنده افزایش آشکار آلودگی و تاثیرات خاص آنها در مناطق آلوده شده بودند.

روزنامه‌ها و مجلات مختلف آن دوره زمانی نیز در جستجوی مطالب و اشاراتی به آسیب‌دیدگی میراث فرهنگی و آثار تاریخی در اثر آلودگی‌های وارد شده بررسی شدند.

در نشریات اشارات بسیاری به اتفاقات ناشی از تاثیر آلودگی در ایران و کشورهای دیگر و نیز خسارات وارده به منابع کشاورزی و دریایی شده بود.

وجود و شکل‌گیری ابر ومه دود و ریزش باران‌های سیاه نیز در این روزنامه‌ها ثبت شده بود. همچنین از بروز عوارض

تنفسی وتاثیرات آن بر سلامتی ساکنین این مناطق و حتی از بین رفتن حیوانات گزارشاتی نیز به دست آمد. در برخی موارد نیز به خسارات وارده به صنعت گردشگری، ساختمان‌ها و مناطق شهری پرداخته شده بود.

برای فاجعه زیست‌محیطی به وجود آمده در اثر آتش سوزی چاه‌های نفت کویت نمی‌توان هیچ مورد مشابهی را در تاریخ یافت و به همین نحو به هیچ عنوان نمی‌شود تا اثرات آن را با سایر وقایع زیست محیطی مقایسه کرد. پایگاه‌های مطالعاتی و تحقیقاتی زیادی طی سال‌های ۱۳۶۹ و ۱۳۷۰ و همین طور سال‌های پس از آن برای بررسی اثرات این واقعه توسط سازمان‌ها ونهادهای مختلف بین‌المللی برپا شد. نتایج حاصل از فعالیت همه این پایگاه‌ها نشان داد که تاثیرات آلودگی تنها در یک محدوده خاص (کشور کویت) فعال و قابل ردیابی و پیگیری نیست بلکه نتایج منفی این واقعه درسطح گسترده‌تری شرایط منطقه‌ای و جهانی را نیز تحت تاثیر قرار داده است.

با توجه به تعداد چاه‌های به آتش کشیده شده و مدت زمان آتش‌سوزی و میزان دود تولید شده در هر روز برآورد می‌شود که حدود ۷۶۲۰۰۰ تن آلاینده در فضا متصاعد شده است (NCAR ۱۹۹۲ ، امینی‌پور ودیگران ۱۹۹۸). با استفاده از مدلسازی و اطلاعات ماهواره‌ای تخمین زده می شود ۳۷٪ آلاینده‌های تولید شده که تقریباً برابر با ۲۸۲۰۰۰ تن می‌شود، در درون مرزهای ایران، بخصوص مناطق جنوبی که از تراکم بالای میراث فرهنگی نیز برخوردار هستند نشست کرده است (امینی پور و دیگران ۱۹۹۸).

مطالعات مختلفی توسط موسسات مختلف علمی برای ارزیابی میزان نشست خشک و تر در کشورهای حوزه خلیج فارس و ایران انجام شد. جدول ۲ میزان ذرات معلق اندازه‌گیری شده در ٤ شهر اهواز، بوشهر، شیراز و تهران توسط موسسه تحقیقات ژاپن JICA را نشان می‌دهد.

نتایج گزارش شده در این جدول میزان میانگین اندازه‌گیری شده در تاریخ‌های یاد شده را نشان می‌دهد. محققان دیگر مطالعاتی را بر روی رابطه بین مجموع ذرات معلق و ذراتی با قطر ۱۰ میکرون در بحرین و فاصله ٤۰۰ کیلومتری کویت انجام

شهر	تاریخ نمونه برداری ۲۴ ساعته	میزان ذرات معلق ug/m^3
اهواز	۲۷-۳۰ ژوئیه ۱۹۹۱	۱۷۲
بوشهر	۹-۱۰ اوت ۱۹۹۱	۱۱۴
شیراز	۱۰-۱۱ اوت ۱۹۹۱	۹۶
تهران	۱-۲ اوت ۱۹۹۱	۲۱۰

جدول ۲ میزان ذرات معلق اندازه‌گیری شده در برخی از مناطق ایران

دادند(حسین و امین ۱۹۹٤). در این بررسی آنها دریافتند که حدود یک سوم مجموع ذرات معلق به ذراتی با قطر ۱۰ میکرون اختصاص دارد. بر همین مبنا می‌توان چنین نتیجه گرفت که این نسبت در مورد شیراز (تخت جمشید) که در فاصله ٤٤۹ کیلومتری کویت قرار دارد نیز صادق است. در بوشهر (با فاصله ۲۸٦ کیلومتر) و در اهواز (۲۳٦ کیلومتر) مشاهده میزان بالای ذرات درشت‌تر با مقادیری بسیار بالاتر از استانداردهای توصیه شده است دور از انتظار نیست.

در نشست مرطوب، باران می‌تواند حاوی مقادیر بالای دوده باشد (باران سیاه) که بارش آن در بسیاری از مناطق ایران در پی آتش سوزی چاه‌های نفت کویت گزارش شده است. نمونه‌های گردآوری شده از باران و برف باریده شده در زمان حضور آلودگی در فضای ایران با استفاده از روش‌های ICPM، GCMS و IC در ایران و نروژ تجزیه شدند. بالاترین میزان آلاینده‌ها در باران سیاه مربوط به بارش مارس ۱۹۹۱ در اهواز و تهران بود (اسماعیلی ساری ۱۹۹۱). جدول ۳ ترکیب شیمیایی باران سیاه در برخی نقاط ایران را نشان می‌دهد. این اطلاعات حاکی از آن است که میزان سولفات، کلراید و بیشتر از همه یون‌های سدیم بسیار بالا بوده و میزان اسیدیته اندازه‌گیری شده

عامل اندازه گیری شده	دزفول	بوشهر	اهواز	کرمان	شیراز	بندرعباس
pH	۶/۵	۷/۴	۷/۸	۵/۹	۶/۸	۷/۳
کلراید (ppm)	۲۵۰	۱۹۰	۲۶۰	۱۷۰	۱۸۶	۱۳۵
سولفات (ppm)	۳۰۰	۲۸۵	۴۱۰	۲۲۰	۱۹۰	۲۷۰
نیترات (ppm)	۷	۶/۵	۷/۵	۳/۵	۴	۵
سدیم (ppm)	۴۹۰	۴۴۰	۶۸۵	۳۲۰	۳۸۶	۴۴۰

جدول ۳ میزان اسیدیته و غلظت یون‌های مختلف (بر حسب ppm) در نمونه باران گردآوری شده ازاستان‌های مختلف کشور (زمستان ۱۳۶۹)

چندان با حد خنثی تفاوتی ندارد.

نهایتاً اطلاعات مربوط به میزان فلزات سنگین در نفت خام کویت گردآوری شد. در همین رابطه، نمونه‌ای از نفت خام ایران (نفت سنگین ایران) و نمونه‌ای از نفت خام کویت (ورندی) بررسی شدند تا تفاوت‌های احتمالی در ترکیب آنها، اجزاء متفاوت و عناصر کم‌مقدار موجود در هر کدام از این نمونه‌ها شناسایی شوند. به همین منظور نمونه‌ها در حرارت پایین خاکستر شدند. خاکستر به دست آمده در اسید حل شد. این محلول‌ها به روش پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) تجزیه شدند. در این مرحله جستجو و اندازه گیری عناصری که به طور معمول در نمونه‌های نفتی یافت می‌شوند (مانند نیکل، وانادیم، آهن براساس قسمت در میلیون وزنی)، عناصر کم مقدار و نیز دیگر عناصری که به میزان کمتری در نمونه‌های نفتی وجود دارند (قسمت در میلیون و قسمت در بیلیون وزنی) مورد توجه قرار گرفتند. میزان عناصر و مقایسه آنها در هر دو نمونه در نتیجه‌گیریها و مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفتند..

جالب توجه‌ترین نتیجه در مقایسه عناصر موجود در این نمونه‌ها مربوط به استرانتیم، پالادیم، ایندیم، آنتیموان و تالیم بود.

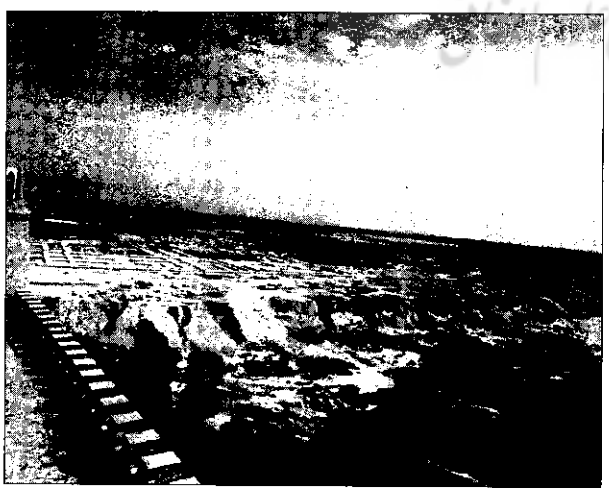
با توجه به این مطلب که بیش از ۱۰ سال از وقوع این واقعه می‌گذشت و در این فاصله اقدامات حفاظتی و مرمتی زیادی بر روی آثار مورد مطالعه در این پروژه‌ها انجام شده بود بدون آنکه مستندات کاملی از وضعیت قبل و بعد از مداخله ثبت شود، یافتن نشانه‌های مشهود و واضح از نشست آلودگی و تخریب‌های حاصل از آن بسیار سخت و دشوار بود.

پایگاه سنجش شوش

نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی، مبنای طراحی برنامه‌های اجرایی دو پروژه بررسی و ارزیابی خسارات قرار داده شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده تصمیم گرفته شد تا بر روی ذرات معلقی که در حال حاضر در فضای مناطقی که در سال ۱۹۹۱ آلوده شده‌اند وجود دارند متمرکز شده و ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های ساختاری آنها را با گردوغبار نشسته بر سطح آثاری که در معرض نشست آلودگی‌های ۱۹۹۱ قرار داشتند مقایسه کنیم. در واقع ارتباط و اثر پذیری فضاهای داخلی از افزایش آلودگی در فضای بیرونی برای ما به خوبی روشن بود چرا که این مسئله بستگی تام به میزان تبادل و گردش هوای درون و بیرون، خصوصیات معماری ساختمان، نوع و تعداد درها و پنجره‌ها، تعداد بازدیدکنندگان و سایر موارد دارد. از آنجا که ساختار و ترکیب شیمیایی ذرات معلق جوی بستگی به نوع سوخت و فرآیند احتراق منبع مولد آنها دارد ،تجزیه و بررسی ساختاری و ترکیب شیمیایی نمونه‌های گردوغبار گردآوری شده از سطوحی که در معرض نشست آلودگی قرار داشته‌اند و پس از آن تمیز نشده‌اند با خصوصیات مشابه در ذرات معلقی که در حال حاضر در فضای مناطق مورد مطالعه وجود دارند مقایسه شد. نتایج این مقایسه می‌تواند شاخصه‌هایی را به عنوان اثر انگشت در اختیار بگذارد که برای بازشناسی منشاء ذرات غبار نشست کرده طی واقعه جنگ خلیج فارس مورد استفاده قرار بگیرد.

به منظور ارزیابی شرایط فعلی میراث فرهنگی واقع در مناطق آلوده شده و بررسی هر نوع شاخصه آسیب‌دیدگی اتفاق افتاده در اثر افزایش آلودگی‌ها، تصمیم گرفته شد تا پایگاه نمونه‌برداری و سنجشی را برای هر دو پروژه برپا کنیم. دستور کار این پایگاه در رابطه با پروژه ارزیابی خسارات وارده به میراث فرهنگی قرار گرفته در فضاهای باز عبارت بود از مقایسه گردو غبار موجود بر روی سطح بقایای معماری و محوطه باستانشناسی با مجموع ذرات معلق (SPM) موجود در فضای همان محوطه و در طرح ارزیابی خسارات وارده به میراث فرهنگی موجود در موزه‌ها ومخازن طبیعتاً این مقایسه با ذرات معلق موجود در فضای موزه و مخزن انجام می‌شد. به علاوه به منظور اندازه‌گیری میزان تاثیر هوای بیرون بر فضاهای داخلی به طور همزمان از ذرات معلق فضای خارج نیز نمونه‌برداری شد و میزان تبادل هوای داخل و خارج در هر اطاق با استفاده از اندازه‌گیری غلظت گاز SF_6 در یک محدوده زمانی مشخص محاسبه شد.

انتخاب محوطه مناسب براساس نتایج به دست آمده از



تصویر ۲- نمای محوطه باستانی شوش از قلعه

پرسشنامه‌های تکمیل شده انجام شد. در نهایت قلعه و محوطه باستانی شوش به عنوان مناسبترین مکان برای اجرای این بخش از تحقیق شناخته شد (تصویر ۲). دلیل عمده این انتخاب آن بود که در قلعه شوش مخازنی وجود داشت که از زمان آتش‌سوزی چاه‌های نفت و ورود آلودگی تا کنون دست نخورده باقی مانده بودند. از طرف دیگر محوطه باستان شناسی و بقایای معماری پیرامون قلعه نیز برای انجام مطالعات مربوط به محوطه‌ها و آثار روباز مناسب بود. قرارگیری هر دو موضوع بررسی در یک محوطه کمک بسیار بزرگی در کاهش تعداد پایگاه‌های سنجش بود بدون آنکه به اهمیت و صحت اطلاعات به دست آمده خدشه‌ای وارد شود.

نمونه برداری غبار موجود بر روی اشیاء

پس از بررسی آثار موجود در شرایط مختلف و آثاری که در فضای باز و در محوطه قرار گرفته بودند تعدادی از میان آنها که از زمان وقوع حادثه و یا قبل از آن پاکسازی نشده بودند انتخاب شدند.

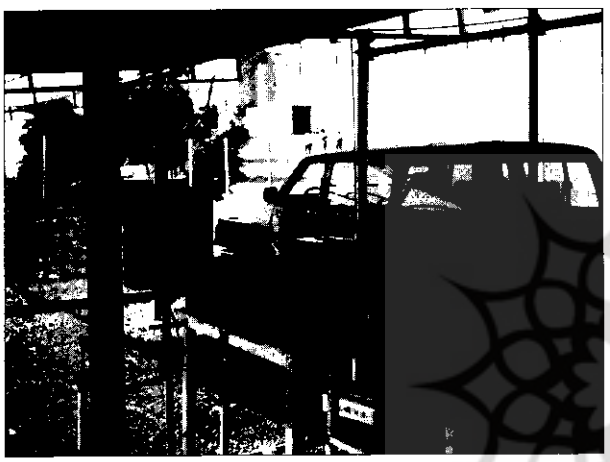
هدف انجام تجزیه کامل نمونه‌های گردآوری شده و مقایسه تفاوت فیزیکی و ترکیبات شیمیایی شاخص بین نمونه ذرات فضای بیرونی، ذرات موجود در فضای داخلی و نمونه‌های تهیه

تصویر شماره ۳. انجام نمونه‌برداری از روی آثار با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری مخصوص.

شده از گردوغبار نشست کرده بر روی اشیاء بود.

برداشتن نمونه به دو روش انجام شد: با استفاده از قلم مو و به کار گیری یک دستگاه نمونه‌برداری که به طور خاص برای انجام این پروژه طراحی شده بود و توسط شرکت ایتالیایی فلوئی ماک FLUIMAC ساخت شده بود. این دستگاه می‌تواند ریزترین ذرات غبار را به کمک نیروی مکش کنترل شده بر روی نمونه فیلترهایی مشابه با آنچه که برای نمونه‌برداری از هوای محوطه و منطقه استفاده شد، گردآوری کند (تصویر شماره ۳).

تنها در مورد برخی نمونه‌های سنگی آپادانا مجبور به استفاده از کاردک شدیم. چرا که در این نمونه‌ها لایه گردوغبار بسیار سخت و چسبنده بود که نه با استفاده از قلم مو و نه با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری قادر به برداشتن نمونه از آن نبودیم. نمونه‌هایی از خاک نیز برای انجام مطالعات مقایسه‌ای برداشته شد.



تصویر ٤. محل نمونه‌برداری از هوای محوطه باز.

نمونه برداری از هوا

نمونه‌برداری از هوای فضای داخلی در اتاق کارگاه مرمت قلعه شوش انجام شد. برای نمونه‌برداری از هوای محوطه باز نیز بخشی از پارکینگ قلعه تجهیز شده و مورد استفاده قرار گرفت (تصویر ٤). این مکان سرپوشیده که دستگاههای نمونه برداری را از تابش مستقیم آفتاب و بارش باران محفوظ نگه می داشت، نمونه خوبی بود از فضای کلی محوطه و جریان هوا در آن.

جمع‌آوری نمونه از هوا توسط یک دستگاه نمونه‌برداری با حجم متوسط انجام شد. این دستگاه به یک پمپ با قدرت مکش تنظیم شده برای گردآوری نمونه ذرات معلق (برابر با ۱۰ l/m) با جریانی ثابت و ٢٤ ساعته وصل بود. نمونه‌ها بر روی فیلتر پلی‌کربناتی و فیلترهای کوارتز جمع آوری شدند. هر کدام از این دو نوع فیلتر برای موارد زیر مورد استفاده قرار گرفتند:

۱-نمونه‌های روزانه بر روی فیلترهای پلی‌کربناتی گردآوری شدند.

۲- برای نمونه‌برداری ۱ یا ۲ ساعته به منظور انجام مطالعات ساختاری ذرات کربنی هم از فیلترهای پلی‌کربناتی استفاده شد.

۳- فیلترهای کوارتز برای نمونه‌برداری‌های کلی استفاده شدند. جدول ۳ نمونه آزمایشات انجام شده بر روی هر کدام از این فیلترها را نشان می‌دهد.

	گراویمتری	PIXE	XRF	AAS	SEM/EDX	XRD	IC	FT-IR	TGA
پلی کربناتی	*	*	*	*	*	*	*		
کوارتز	*			*		*		*	*

جدول ۳ نمونه آزمایشات انجام شده بر روی انواع فیلتر های نمونه برداری

هوای خشک و تمیز (حد صفر) و گازهای استاندارد کالیبره شد. برای این کار از یک دستگاه پایش چند گازه INNOVA مدل ۱۳۰۲ که به یک حسگر مادون قرمز آکوستیک متصل بود استفاده شد.

ماده اندازه گیری شده	نمونه فضای خارجی	نمونه فضای داخلی
غلظت کل	۱۵۲	۱۲۵
کربن آلی	۱۱/۹	۱۱/۴
کربن عنصری	۵/۲	۷/۱
کربن مجموع	۱۹/۰	۱۶/۶
کربن آلی/کربن عنصری	۱/۷	۲/۲

جدول ٤ میزان کربن عنصری، آلی و مجموع در ذرات معلق فضاهای داخلی / خارجی

در مجموع ۳۰ نمونه از ذرات معلق و ١٤ نمونه از گردوغبار موجود بر روی آثار تهیه و تجزیه شدند.

اندازه‌گیری میزان تبادل هوای فضای خارج وداخل با استفاده از گاز SF٦

شرایط حفاظتی محل نگهداری اشیاء به عوامل متعددی بستگی دارد. یکی از مهمترین آنها میزان تبادل بین هوای داخل و خارج محل نگهداری است. برای اندازه‌گیری این عامل بدون آنکه خطری آثار موجود در محل را تهدید کند، بهترین روش استفاده از یک دستگاه سنجش گاز است. با این روش نه تنها می‌توان میزان هوای تازه‌ای که به اتاق وارد می‌شود را اندازه‌گیری کرد، بلکه نحوه پراکنش این هوای ورودی در فضای اتاق را نیز می‌توان مشخص کرد. اساس این روش بر پایه استفاده از گازی دارای خصوصیات فیزیکی مشابه با هوا که به راحتی ردیابی شود. شیوه اندازه‌گیری بر اساس معادله‌ای کمّی است که به آن اضمحلال غلظت می‌گویند. برای انجام این آزمایش از گاز هگزافلوراید گوگرد (SF٦) استفاده می‌شود که گازی خنثی، بدون بو و بدون رنگ است. اندازه‌گیری میزان تبادل هوای داخل و خارج در اتاق‌های مختلف قلعه از جمله کارگاه مرمت انجام شد. پیش از انجام آزمایش دستگاه ردیاب با استفاده از

نتایج:

عمده نتایج به دست آمده از این مطالعات به شرح زیر است:

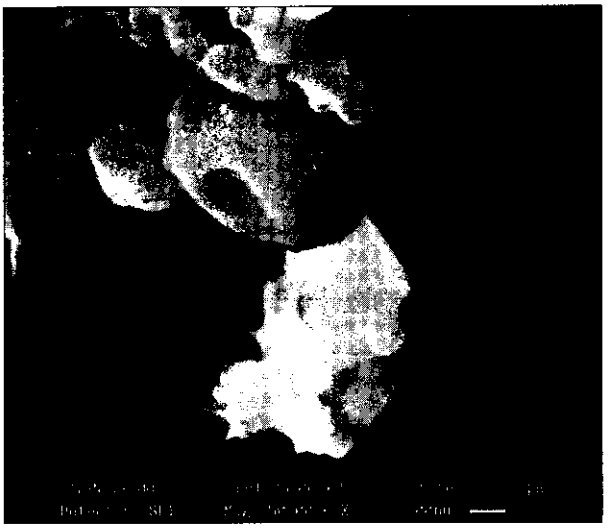
۱- تجزیه ذرات معلق فضاهای داخلی/خارجی

میزان کلی ذرات معلق اندازه‌گیری شده در شوش بسیار بالا بود. با توجه به محدودیت دوره اندازه‌گیری، تنها می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که میزان به دست آمده تنها نمونه‌ای از شرایط کیفیت هوای محوطه است. چنانچه میزان کربن عنصری (EC) و کربن آلی (OC) ، که در جدول ٤ آمده است را با هم مقایسه کنیم . متوجه خواهیم شد که میزان اندازه‌گیری شده در شوش قابل مقایسه با مقادیر مربوط به شهرهای بزرگ و آلوده‌ای چون پاریس و دهلی است.

انتقال و انتشار آلاینده‌های حاصل از پالایشگاه‌های نفت فعال در منطقه به طور کلی بستگی به سرعت باد، توپوگرافی منطقه و الگوی جریانات همرفتی در شوش دارد.

از طرف دیگر، منابع محلی متعددی برای تولید ذرات معلق در منطقه وجود دارد. حمل و نقل جاده‌ای و احتراق مولد گردوغبار در شوش بوده و وسایل نقلیه‌ای که در جاده‌های آسفالت نشده نزدیک شوش و قلعه تردد می‌کنند بر میزان این گردوغبار می‌افزایند. میانگین ذرات معلق در فضاهای داخلی برابر با ۱۳۹ ug/m۳ بوده که تقریباً ده برابر میزان پذیرفته شده

تصویر ۵ ذرات بزرگ نامنظم.



تصویر ۷ آنالیز ذره نشان داده شده در تصویر قبل.

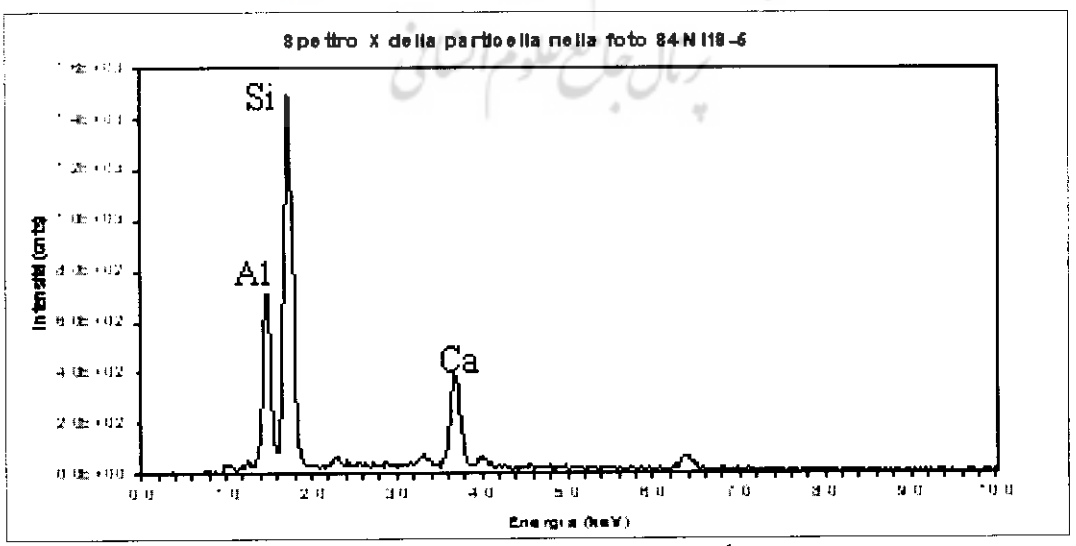
و مجازبرای کیفیت هوای موزه‌ها است. میزان این ذرات در فضاهای خارجی نیز (با میانگین ۱۹۲ ug/m۳) بالاتر از حد توصیه شده در استاندارد عمومی هوا (میانگین سالانه برابر با ۷۰ ug/m۳) است.

مقادیر کلی برخی عناصر اندازه‌گیری شده در فضاهای خارجی نیز قدری بیشتر از مقدار عناصر مشابه در فضاهای داخلی بود اما نسبت بین دو دسته ارقام به خوبی حفظ شده و ضریب تناسب آنها در تمام موارد برابر است با ۰/۹۵.

بررسی‌های ساختاری و آزمایشات XRF-EDS که بر روی چندین نمونه از هر دو نوع فیلتر انجام شد، هماهنگی کامل نتایج آنها را با یکدیگر تایید کرد. در هر دو گروه از نمونه‌ها دو نوع ریز ذره وجود داشت:

• ذرات بزرگ با ساختاری نامنظم (بزرگتر از ۵-۱۰ میکرون) که آلومینیم، سیلیس، کلسیم، تیتانیم و آهن به عنوان عناصر شاخص در آنها دیده می‌شوند. منبع این ذرات بر اساس ساختار و عناصر سازنده‌اشان، خاک منطقه است. این مسئله با بررسی عناصر سازنده در نمونه‌های کلی نیز که در آنها آلومینیم، سیلیس، کلسیم و آهن عناصر اصلی هستند تایید می‌شود. به علاوه نتایج XRD نیز وجود ترکیبات کریستالین معمول را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد که مجدداً اثبات می‌کند منشاء این ذرات خاک موجود در محوطه است (تصویر ۵ و ٦).

• ذرات کوچک (با قطر کوچکتر از ۱ میکرون) که منظم، کروی وگرد هستند (تصویر ۷) و گوگرد عنصر اصلی در ساختار آنها و وانادیم، نیکل، مس و روی عناصر ثانویه آن به



تصویر ٦ ذرات کوچک ناشی از سوخت ناقص در دمای بالا (آتش سوزی چاههای نفت کویت)

میزان کلرین و گوگرد در آن کمتر از ۰/۱٪ بوده و هیچ نشانی از سولفات‌های محلول در آب طی آزمایشات یون کروماتوگرافی به دست نیامد. میزان نسبت کربن آلی به کربن معدنی در این نمونه‌ها برابر با ۰/۲۱ بود که حدود ۱۰ برابر کوچکتر از مقدار تعیین شده برای نمونه ذرات معلق است.

نمونه غبار برداشته‌شده از روی اشیاء

فازهای کریستالی در نمونه‌های جمع آوری شده توسط قلم مو کاملاً مشابه نمونه‌های خاک بودند. در نمونه‌های تهیه شده توسط دستگاه نمونه‌برداری تنها کلسیت و کوارتز مشاهده شدند، این مسئله ناشی از چسبندگی کم ذرات غبار به فیلترها است. میزان ترکیبات مختلف در این نمونه‌ها مشابهت زیادی با ترکیبات خاک دارد در حالیکه میزان گوگرد و کلر متناسب با آلودگی بود. وجود مقادیر نسبتاً بالای سرب، وانادیم و بیش از همه برومین نیز جالب توجه بود.

نتایج مطالعات ساختاری با نتایج حاصل ازEDX مقایسه شد. این نتایج حاکی از وجود دو نوع ذره بودند. دسته اول شباهت بسیار زیادی با خاک منطقه داشتند و دسته دوم ذرات کربنی بودند که از منشاء نامتعارفی حاصل شده بودند، اما از لحاظ ساختاری کاملاً با آنچه که در نمونه‌های ذرات معلق مشاهده شد متفاوت بودند.

می توان این دو دسته را به شرح زیر با جزئیات بیشتر توصیف نمود:

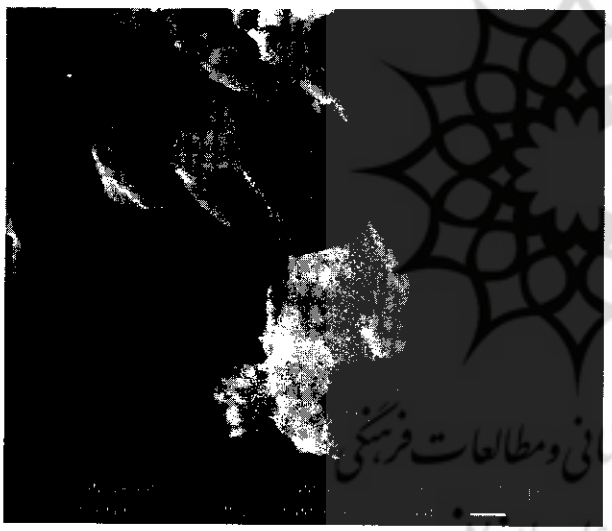
• ذرات ریز میکرون به هم چسبیده (با قطر بیش از ۱-۵ میکرون) . این ذرات کوچک کربنی که به یکدیگر می‌چسبند و ذره‌ای با قطر بیشتر تشکیل می‌دهند به ندرت ساختاری متقارن داشته و گوگرد در آنها عنصر پایه است. در میان دیگر عناصر موجود در آنها اغلب می‌توان باریم را در ترکیب آنها پیدا کرد (تصویر ۹).این اطلاعات کاملاً با نتایج آزمایشات شیمیایی انجام شده که نشان‌دهنده میزان بالای کربن و گوگرد در این نمونه‌ها است همخوانی دارد.

در واقع میزان گوگرد در این ذرات تقریباً بین ۵ تا ٦٪ بوده و میزان نسبت کربن آلی به کربن عنصری در آنها تقریباً برابر است با ۰/۷(این مقدار برای نمونه‌های گردآوری شده از ذرات معلق ۲ بود). در این دسته از نمونه‌ها کربن عنصری بسیار بیشتر از کربن آلی است (بر خلاف آن چه که در نمونه ذرات معلق مشاهده شد). به همین دلیل این ذرات ناشی از فرآیند احتراقی کاملاً متفاوت با آنچه که در حال حاضر در منطقه وجود دارد و فعال است، هستند.

شمار می‌روند. در هر دو مورد به نظر می‌رسد که کربن موجود در این ذرات حاصل فرآیندهای احتراقی معمول چون کارکرد موتور خودروها و یا استفاده از سوخت فسیلی باشد. این ادعا با نتایج تجزیه‌های شیمیایی(کروماتوگرافی یون و[4] TGA-FTIR) که نشان دهنده میزان سولفات‌ها بین ۲۰ تا ۳۰ ٪ و کربن مجموع بین ۱۵ تا ٪۲۰ در این ذرات است، تایید می‌شود. به علاوه میزان اندازه‌گیری شده نسبت کربن آلی به کربن۵ عنصری در این ذرات تقریباً برابر است با ۲ که خود موید حضور ترکیبات و ذرات آلی است. منشا این ذرات بدون تردید فعالیت‌های انسانی است و حاصل احتراق در دماهای بسیار بالا هستند .

تبادل هوای فضاهای داخلی ومحوطه خارج

میزان تبادل هوای بین داخل و بیرون اتاق‌های بررسی شده بسیار بالا و تقریباً بین ٦/٧ تا ۸/۹ بار جابجایی هوا در ۲٤



تصویر ۹ -- ذرات کربنی به هم چسبیده.

ساعت بود. این نتایج به روشنی نتایج به دست آمده از مقایسه و شباهت موجود بین ذرات معلق فضاهای داخلی و فضاهای خارجی را تایید می‌کند. در واقع چنین میزان بالایی از تبادل هوایی باعث می‌شود تا افزایش آلودگی و آلاینده‌های موجود در فضای خارجی به راحتی بر روی کیفیت هوای فضای داخلی تاثیر بگذارد.

خاک

لایه‌های خاک موجود در محوطه باستانشناسی شوش به طور عمده از کلسیت و کوارتز به همراه دولومیت و جیسموندین (یک زئولیت معدنی) به عنوان عناصر ثانویه تشکیل شده‌اند.

تصویر ۱۰ ذرات آلومینیمی

• ذرات بزرگ و نامنظم (با قطر بیشتر از ۵-۱۰ میکرون) که عناصر عمده در ساختمان آنها عبارتند از آلومینیم، سیلیس، کلسیم، تیتانیم و آهن. ساختار و ترکیب شیمیایی این ذرات مشابه گردوغبار ناشی از خاک منطقه است (تصویر ۱۰). در مورد این ذرات نتایج آنالیزها با نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی نمونه‌های عمده و کلی همخوانی و مشابهت داشت. سولفات‌ها عمده‌ترین ترکیبات محلول در آب هستند.

جمع بندی

افزایش آلاینده‌های گازی و ذرات معلق به صورت گسترده‌ای در تحقیقات متعددی که در همان زمان انجام گرفته بود ثبت و مستند شده است. این منابع و مستندات در طول بررسی‌ها و سیستم مدل سازی مورد استفاده و ارجاع قرار گرفت.با توجه به اندازه‌گیری مجموع ذرات معلق در اهواز، بوشهر، شیراز و تهران در سال ۱۳۶۹-۱۳۷۰، میزان متوسط ۸۸ m/m۳ ٪ برای ذرات معلق با قطر ۱۰ میکرون را می‌توان به دست آورد که بسیار بیشتر از استانداردهای توصیه شده برای نگهداری و حفاظت از میراث فرهنگی است. بارش بارانی که حاوی مقادیر بسیار زیاد دوده (باران سیاه) بود، به طور گسترده در بسیاری از قسمت‌های ایران گزارش شده بود. نمونه‌های باران و برف جمع آوری شده در ایران مورد بررسی و تجزیه قرار گرفته است. بیشترین میزان وجود آلاینده‌ها در نمونه باران سیاه جمع آوری شده از اهواز در اسفند ۱۳۶۹ گزارش شده است. حجم آلاینده‌های وسیعی که از سوختن چاه‌های نفت کویت ناشی شده بود بدون شک بر کیفیت هوا و ترکیبات نشست رسوبات و نزولات جوی در منطقه تاثیری قابل توجه داشته است. مقادیر مختلف کربن عنصری (EC) و کربن آلی (OC) اندازه گیری شده در مناطق مختلف ایران و جهان نشان می دهد که میزان ثبت شده در ایران بالا بوده و تقریباً برابر است با آلوده‌ترین ابرشهرهای جهان مانند لوس‌آنجلس، پاریس و یا دهلی نو. در موردشرایط میراث فرهنگی ایران در سال وقوع حادثه در استان‌های آلوده شده اظهارات شاهدان عینی، که دارای مسئولیت‌های مختلفی در میراث‌فرهنگی بوده‌اند، این نکته را تایید می‌کند که تیرگی و سیاه شدن سطوح به صورت وسیع و گسترده‌ای بیشتر از آنی بوده که در همان زمان ثبت و یا گزارش شده است. همین موضوع نیز در خیلی از روزنامه‌های ایرانی منتشر شده در زمستان ۱۳۶۹ تا تابستان ۱۳۷۰ منعکس شده است. این آلودگی و سیاه شدن سطوح در اشیایی که در فضاهای بسته (مانند موزه‌ها و انبارها) نیز نگهداری می‌شدند دیده می‌شد. البته این قضیه در مقایسه با سطوح قرار گرفته در فضاهای روباز از شدت کمتری برخوردار بود. میزان کلی ذرات معلق اندازه‌گیری شده در شوش نسبتاً بالا بود. نتایج اندازه‌گیری کربن عنصری و کربن آلی قابل مقایسه با آلوده‌ترین شهرهای جهان بود. فعالیت پالایشگاه‌های نفت در منطقه، حمل و نقل موتوری، دیگر منابع و فرآیندهای احتراقی در منطقه و بیش از همه خود گرد و خاک در حال حاضر محتمل ترین منابع برای انتشار ذرات معلق هستند. میزان متوسط هم برای فضاهای باز و هم برای فضاهای بسته بالاتر از میزان مجاز توصیه شده برای کیفیت عمومی هوا است. حتی این مقادیر توصیه شده برای کیفیت هوا برای بناهای تاریخی نیز بالاتر از حد اطمینان بوده، چرا که این بناها بر خلاف موجودات زنده فاقد فرآیندهای بازسازی هستند، بنابراین هر آنچه که در اثر آسیب‌های شیمیایی- فیزیکی از دست دهند دیگر قابل جایگزینی نخواهد بود.ذرات ریز میکرون با اشکال نامنظم در نمونه‌های گردآوری شده از روی اشیاء دیده می‌شد، در حالیکه ذراتی مشابه با آنها در آلودگی‌ها و ذرات معلق معمول در محل مشاهده نشد. ذرات کوچک کربنی مشابه به ندرت دارای ساختار کروی شکل بوده و گوگرد در آنها عنصر اصلی و باریم جزء عناصر کم مقدار است. نسبت محاسبه شده کربن آلی به کربن عنصری (OC/EC) تقریباً برابر با ۰/۷ است. (در حالیکه این میزان در ذرات معلق موجود در فضای فعلی در حدود ۲ است). این دلایل نشان می‌دهد که منبع تولید این ذرات فرآیند سوختی است که با آنچه که به طور معمول فضای منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد بسیار متفاوت است. ذرات حاوی کلر کاملاً در بررسی‌های SEM/EDS شناسایی شدند. میزان بالای

کلرین در تمامی نمونه‌های گرد و غبار گردآوری شده از روی اشیاء در مقایسه با ترکیب ذرات معلق فعلی قابل توجه بود در حالیکه این میزان در مقایسه با آب دریا تفاوت کمتری داشت. این میزان بالای نمک کلر در کنار ذرات نامتعارفی که دیده شد می‌توانند به عنوان شاهدی دیگر برای تاثیر عواملی متفاوت از منابع آلوده کننده معمول و فعال در حال حاضر شمرده شوند. میزان تبادل هوا بین فضاهای درونی و بیرونی در اتاق‌هایی که سنجش در آنها صورت گرفت بسیار بالا بود. این امر دلیلی بر این مدعا است که آثاری که در این اتاق‌ها نگهداری می‌شدند نیز به همان اندازه آثار قرار گرفته در فضاهای باز تحت تاثیر آلودگی قرار گرفته‌اند.

در روش اتخاذ شده برای بررسی و اثبات ادعا، نشانه‌هایی از تاثیرات منفی واقعه مانند میزان بالای یون کلر و ساختار متفاوت ذرات ریز غنی از گوگرد را به دست داد که کاملاً با محصولات منابع آلودگی و آلاینده‌های موجود و معمول در منطقه متفاوت بودند. با بررسی شاخصه های نفت کویت و مقایسه نتایج تجزیه شیمیایی این نمونه ها، به روشنی مشخص شد که این آلودگی‌ها ناشی از واقعه آتش سوزی چاه‌های نفت کویت در سال ۱۳۷۰-۱۳۶۹ هستند. با استناد به کلیه این موارد و ارائه گزارشات مبسوط علمی در این رابطه، وارد آمدن خسارت به میراث فرهنگی ایران در مناطق جنوبی وغرب کشور ناشی از آلودگی‌های حاصل از آتش سوزی چاه‌های نفت کویت اثبات شده و مورد تایید کمیسیون غرامات واقع شد.

منابع:

Aminipouri, B. (project director), Jalali, N., Noroozi A.A. & Abkar, A.A.. (prepared by), "Tracking of Oil Spills and Smoke Plumes of Kuwait's Oil Well Fires to the Coast and Territory of I.R. of Iran as a Result of the 1991 Persian Gulf War "Remote Sensing and GIS Application,"", International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands; Ministry of Jihad-e-Sazandegi I.R. of Iran, Soil Conservation and Watershed Management .Research Centre (SCWMRC), 1998

JICA Report, October, Kuroiwa, K., Komeiji, T., Sakamoto, K., Oura, A., Hishida, H. & Ando, M., "Comprehensive Report, Measures against Air and Marine Pollution in the Islamic republic of Iran", 1991

Amin M.B., Husain T.,"Kuwait oil fires – air quality monitoring", Atmosphere. Environment. 28, 13, 1994 ,2276-2261

Esmaili Sari, Abbas,, "Global acid deposition assessment," paper presented to the WMO Conference WMO Report N. 106,1991:13,30

ICCROM, RCCCR, Final Report, "Assessment of damage to Iranian Cultural Heritage caused by the increase in air pollution resulting from the Persian Gulf Crisis",1998

ICHO, Statement of Claim (Preliminary Report & Evolution),"Assessment of the Damages to the Iranian Cultural Heritage Caused by the Increase in Air Pollution Resulting from the Persian Gulf .Crisis",1998

Iranian Cultural Heritage and Tourism Organization,Venice European Centre for the Trades and Professions of the Conservation of Architectural Heritage, Final Report for Monitoring and Assessment Project No.5000446, "Air pollution .effects in Iranian sites", Jan 2004

Iranian Cultural Heritage and Tourism Organization,Venice European Centre for the Trades and Professions of the Conservation of Architectural Heritage, Final Report for Monitoring and Assessment Project No.5000447, "Air pollution .effects in Iranian museums", Jan 2004